

ASPECTOS DA SUPERSTRUTURA DE DISCORDÂNCIAS E SUA DEPENDÊNCIA  
COM OS ESTÁDIOS DE REFORMAÇÃO DO AÇO INOXIDÁVEL TIPO AISI-  
304 A ALTAS TEMPERATURAS.

Jacira Lucia Leite Gliveira (2)

José Alfredo B. S. Reis Filho (2)

Luiz Henrique ~~de~~ Almeida (3)

Sergio Neves Monteiro (4)

- (1) Apresentado ao XXXIII Congresso Anual da ABM, R.J., 1978.
- (2) Membro da ABM, Estudante Graduado, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - EE/UFRJ.
- (3) Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, Auxiliar de Ensino da COPPE/UFRJ.
- (4) Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista e Ph.D., Professor Titular da COPPE/UFRJ.

RESUMO

O desenvolvimento das subestruturas de discordâncias foi associado ao comportamento dos estágios de deformação no aço inoxidável austenítico tipo AISI-304. Esses estágios foram identificados através dos gráficos do tipo  $\log d\sigma/d\epsilon \times \log \epsilon$ , devido a esse método evidenciar melhor o ponto de transição. Os mecanismos responsáveis pelo Envelhecimento Dinâmico, particularmente o efeito Portevin-LeChatelier estão associados a esses estágios. >

Os resultados obtidos indicam que os estágios de deformação podem ser divididos em duas regiões distintas e cada uma delas mostra características particulares no que diz respeito ao nível de tensão, ponto de transição desenvolvimento estrutural e tipos de interações dos defeitos cristalinos com as discordâncias.

ABSTRACT

The development of dislocation substructures in type 304 austenitic stainless steel at high temperatures has been associated with the deformation stages through  $\log d\sigma/d\epsilon \times \log \epsilon$  plots, which show the transition point independently. The mechanisms responsible for the Dynamic Strain Aging particularly the Portevin-LeChatelier effect were related to the appearance of the stages. The results indicate that the deformation stages can be divided into two distinct regions. Each one of these regions show particular characteristics with respect to the stress level, transition point, developed substructure and type of crystalline defects interaction with dislocations.

## 1. INTRODUÇÃO

Inúmeras pesquisas têm sido desenvolvidas, onde se procura interpretar a resposta mecânica dos materiais metálicos, quando solicitados plasticamente, com os efeitos físicos reais que ocorrem durante a deformação (1-3). Esse tipo de estudo está bastante desenvolvido para o caso de monocristais, principalmente nos primeiros estágios de deformação, ao contrário dos materiais policristalinos, onde os resultados são bastante empíricos, devido ao grande número de variáveis que afetam os mecanismos de deformação. Nos materiais altamente ligados, como os aços inoxidáveis austeníticos, o comportamento estrutural durante a deformação adquire uma complexidade maior ainda, em virtude dos fenômenos, termicamente ativados de interação de impurezas e defeitos cristalinos com processos normais de deformação. O objetivo desse trabalho é apresentar um estudo relacionando os estágios de deformação plástica do aço inoxidável austenítico com o desenvolvimento das subestruturas de discordâncias observadas por microscopia eletrônica de transmissão, em continuação à publicação anterior (4).

## 2. ASPECTOS TEÓRICOS

Na análise da curva tensão-deformação dos aços inoxidáveis austeníticos, distingue-se, perfeitamente, a presença dos Estágios II e III em quase toda gama de temperaturas. Para interpretá-los mais precisamente, utilizou-se gráficos do tipo  $\log \frac{d\sigma}{d\epsilon} \times \log d\epsilon$ , onde a transição é identificada na mudança de inclinação da reta obtida. A escolha desse tipo de gráfico deve-se ao fato de ele indicar satisfatoriamente o ponto de transição, esteja em grandes deformações, ou no início da deformação plástica, ao contrário dos outros métodos que se baseiam em  $\sigma$ . O ponto de transição limita, provavelmente, duas regiões onde operam mecanismos de deformação distintos.

O estágio III é caracterizado pela diminuição contínua da taxa de encruamento, devido aos processos de amolecimento que dão origem à Recuperação Dinâmica. O início desse estágio está associado à efetivação de processos como deslizamento cruzado e escalagem, ou mesmo, à aniquilação e rearranjo de discordâncias em configurações de mais baixa energia (5). A ocorrência desses processos em maior ou menor escala depende do nível de tensões a que estão sujeitas as discordâncias, que por sua vez dependem das interações destas com os defeitos da rede cristalina e também, das subestruturas formadas.

## 3. RESULTADOS

As técnicas experimentais para a realização desse trabalho já foram descritas em publicações anteriores (4-6). Os grãos observados em microscopia eletrônica de transmissão apresentam sua direção normal ao plano  $\langle 100 \rangle$  paralela ao eixo de aplicação da carga para evitar interpretações diversas de aspectos da mesma subestrutura em vistas diferentes (7).

Os aços inoxidáveis apresentam, de uma forma geral, a curva de deformação com os Estágios II e III bem definidos (8,9), onde identifica-se um trecho praticamente retilíneo de outro de grande curvatura. Essa mudança de comportamento no escoamento plástico é chamada ponto de transição, que pode ser determinada através da mudança de inclinação das retas obtidas em qualquer processo e, particularmente, nos gráficos  $\log \frac{\sigma}{E} \times \log \epsilon$  (9). A variação de tensão no ponto de transição com a temperatura para o aço inoxidável austenítico está apresentada na figura 1, onde pode-se notar um trecho constante entre 150°C e 550°C, portanto, independente da temperatura e um outro em que a curva cai continuamente. As amostras indicadas nessa figura foram analisadas em microscopia eletrônica de transmissão.

Observou-se que toda a faixa em que ocorre o comportamento de duplo estágio para o aço inoxidável austenítico está dentro da região de Envelhecimento Dinâmico (10) e, o que é de maior importância, o efeito Portevin-LeChâtelier indica a ocorrência de dois mecanismos de interação distintos (11), um para cada trecho da figura 1.

Na faixa até 550°C os serrilhados são do tipo A, o que indica a presença de atmosferas de defeitos pontuais que exercem uma ação real de bloqueio às discordâncias. Acima dessa temperatura, os serrilhados são do tipo B, o que caracteriza atmosferas de grande mobilidade que não provocam mais uma ação de bloqueio e caracterizam-se por uma interferência à movimentação das discordâncias. O aspecto desses serrilhados está mostrado na figura 2.

As figuras 3, 4 e 5 mostram as subestruturas formadas no material deformado, em 200°C, a 10%, na transição a 24% e na deformação uniforme máxima a 33%. O desenvolvimento micro-estrutural nessa temperatura é o mesmo apresentado a 500°C, como publicado em trabalho anterior (4).

Em contraste com a transição a 200°C e 500°C, a transição a 600°C não apresenta uma estrutura celular tão bem formada, como mostra a figura 6 e menos ainda a 700°C, como na figura 7. Entretanto, trabalhando-se a 700°C, com o material deformado a 20%, portanto bem acima de sua transição, que se observa a 3%, as células já se apresentam bem formadas, como pode-se ver na figura 8. A figura 9 mostra o forte alinhamento e mudança de orientação das células, que ocorre na ruptura a 700°C, com a conseqüente formação de sub-grãos. Esse alinhamento é também visível a 600°C, na ruptura, como mostra a figura 10,

ou mesmo a 200°C, também na ruptura, figura 5.

Como observações gerais, temos:

Na primeira região, entre 200°C e 550°C, o desenvolvimento estrutural é semelhante e o início do estágio III associa-se à subestrutura bem formada.

Na segunda região, entre 550°C e 700°C, o início do Estágio III in depende da subestrutura e fica cada vez menos definido à medida que a temperatura aumenta.

#### 4. DISCUSSÃO

A variação da tensão de transição com a temperatura, figura 1; as informações fornecidas pelo efeito Portevin-LeChatelier, figura 2; e as observações do desenvolvimento subestrutural, figuras 3-10, nos levam a concluir que o aço inoxidável austenítico, dentro da faixa de temperaturas do Envelhecimento Dinâmico, se comporta de duas maneiras distintas:

Na primeira região, o início do Estágio III depende de um nível de tensões e a subestrutura desenvolvida é a mesma em toda faixa de temperaturas. Além disso, no ponto de transição as células estão praticamente em seu tamanho crítico e como temos nessa região a presença de uma atmosfera que exerce uma ação de bloqueio sobre as discordâncias, é de se supor que elas impeçam até um certo nível de tensões as interações entre as discordâncias ou sua mudança de planos, retardando assim o início da Recuperação Dinâmica. Essa tensão crítica pode ser atingida com a configuração da subestrutura no ponto de transição, ativando processos de amolecimento nas paredes e diminuindo campo de tensão do interior das células.

Na segunda região, entre 550°C e 700°C, a tensão para o início do Estágio III diminui continuamente com a temperatura. O princípio da Recuperação Dinâmica se dá com a estrutura cada vez menos definida à proporção que a temperatura aumenta. Como, nesse caso, as atmosferas de impurezas caminham juntamente com as discordâncias, a tensão para a efetivação dos processos de amolecimento vai se tornando cada vez menos dependente desses interações.

#### 5. CONCLUSÕES

A) A mudança do Estágio II para o Estágio III da curva de deformação dos aços inoxidáveis austeníticos se comporta de forma que divide-se em duas regiões distintas dentro da faixa de temperaturas de ocorrência do Envelheci

mento Dinâmico.

Na primeira, entre 200°C e 550°C, o início da Recuperação Dinâmica depende de uma determinada tensão e de uma subestrutura de discordâncias bem formada.

Na segunda, entre 550°C e 700°C, independe da subestrutura e a tensão cai continuamente com a temperatura.

B) Esse comportamento é provocado pelo tipo de interação entre os defeitos cristalinos e as discordâncias.

C) A subestrutura desenvolvida, de uma forma geral, entre 200°C e 700°C, é função do nível de tensão e independe dos estágios de deformação acima de 550°C.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o auxílio concedido a esta pesquisa pelo CNPD CNEP e CEPEG/UF RJ.

#### BIBLIOGRAFIA

1. HIRSCH, P.B., HORNG, R.W., WHELAN, M.J. - PHIL. MAG., v.1, pg 677, 1956.
2. JAOU, B. - J. MECH. PHYS., v.5, pg 95, 1957.
3. MITCHEL, T.E., FOXALL, R.A., MIRSCH, P.B. - PHIL. MAG., v.8, pg1895,1963
4. ALMEIDA, L.H., REIS FILHO, J.A.B.S., KESTENBACH, H.J. - METALURGIA ABM , v. 33, nº240, pg 673-676, 1977.
5. McQUEEN, H.J. - MET. TRANS., .v.8A, pg 807-824, 1977.
6. NATAL, Y.D., ALMEIDA, L.H., MONTEIRO, S.N. - METALURGIA ABM, v. 32, pg 525-530, 1976.
7. MONTEIRO, S.N, KESTENBACH, H.J. - MET. TRANS., v.6A, pg938, 1975.
8. CONWAY, J.B., BERLING, J.T., STENTZ, R.H., SALYARDS, D.G. - "Stress Stra in Behavior of Stainless Steels to Elevated Temperature", Relatório da Gene ral Electric, CEMP, 686, Maio 1969.
9. ANTUNES, A.E.B., ALMEIDA, L.H., MONTEIRO, S.N. - "Encruamento dos Aços I noxidáveis 316 Durante o Envelhecimento Dinâmico" , VI JORNADAS METALÚRGI - CAS ARGENTINAS e I LATINO-AMERICANAS, Buenos Aires, outubro 1974.
10. TEIXEIRA MENDES, S.C.P., ALMEIDA, L.H., MONTEIRO, S.N. - METALURGIA ABM, v.31, nº 209, pg 243/247, 1975.
11. ALMEIDA, L.H., ANTUNES, A.E.B., MONTEIRO, S.N. - METALURGIA ABM, v. 31, nº 214, pg 587/592, 1975.

LEGENDA DAS FIGURAS

FIGURA 1 - Variação da tensão no ponto de transição com a temperatura para o aço inoxidável austenítico AISI-304.

FIGURA 2- Identificação dos tipos de serrilhados A e B.

FIGURA 3 - Aspectos das subestruturas formadas no aço inoxidável austenítico AISI-304 deformado em 200°C, a 10%.

FIGURA 4 - Idem, para a transição, a 24%.

FIGURA 5 - Idem, para a deformação máxima uniforme a 33%.

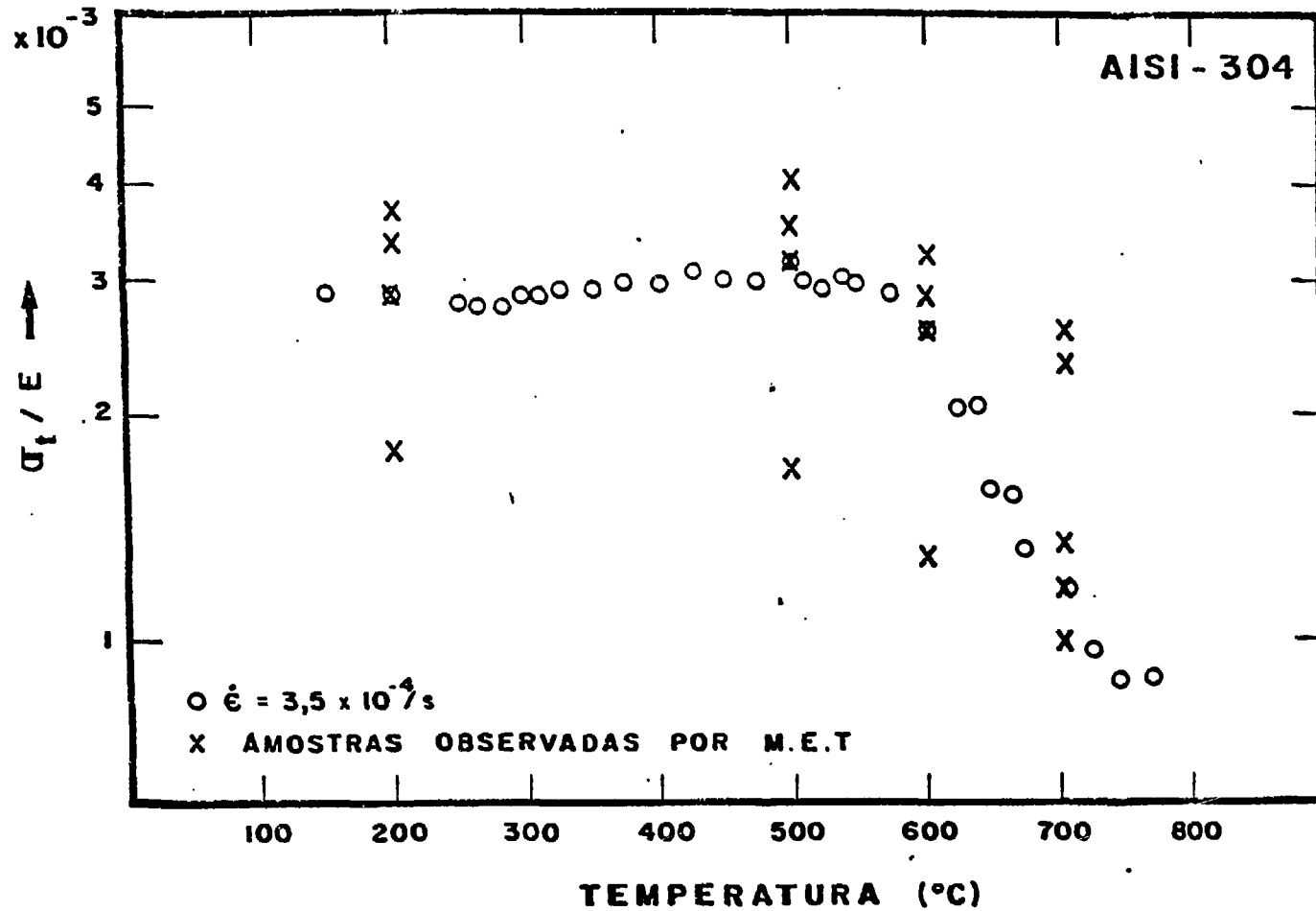
FIGURA 6 - Estrutura celular na transição em 600°C, a 13% de deformação.

FIGURA 7 - Estrutura celular na transição em 700°C, a 3%.

FIGURA 8 - Aço inoxidável austenítico AISI-304, deformado a 20%, a 700°C.

FIGURA 9 - Aspectos da região de ruptura a 700°C.

FIGURA 10 - Aspectos da região de ruptura a 600°C.



**FIG. 1**



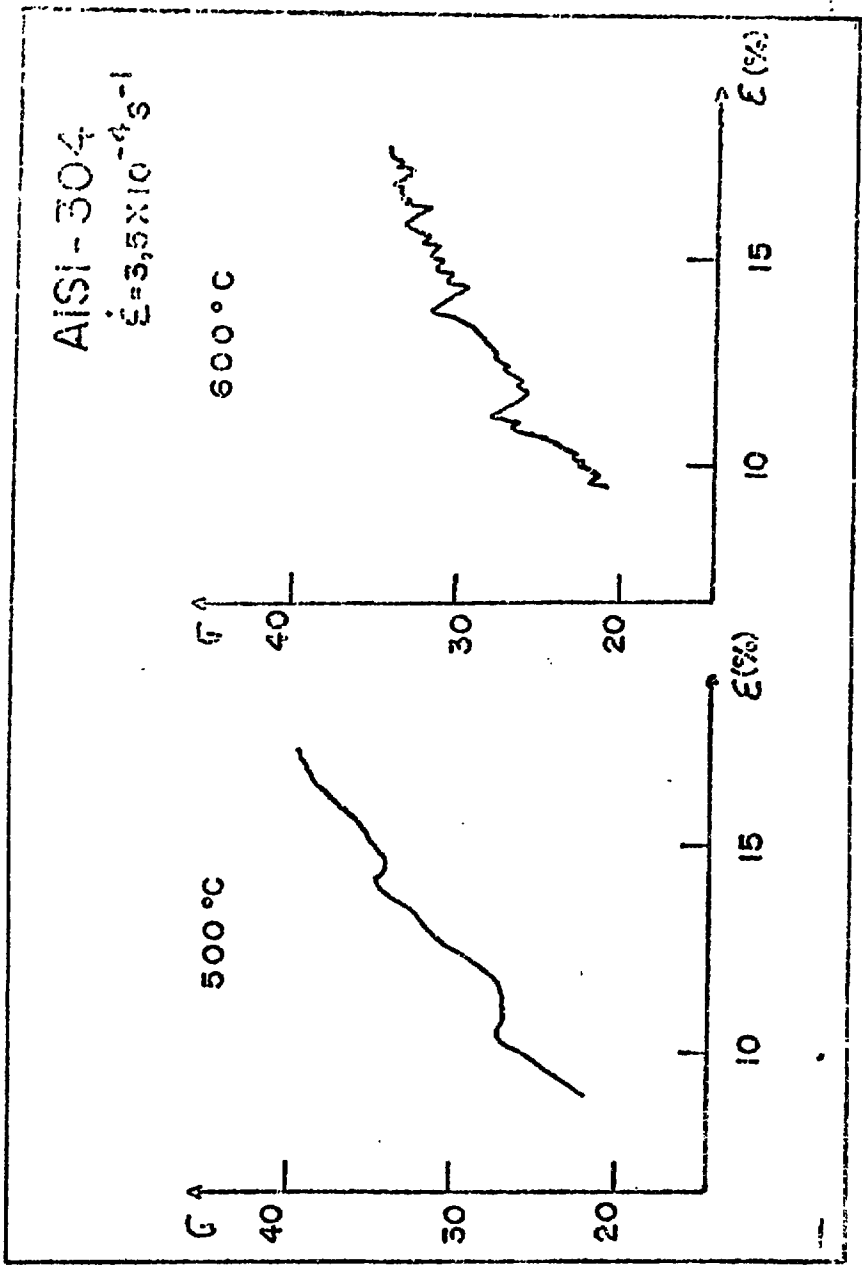


FIG. 2

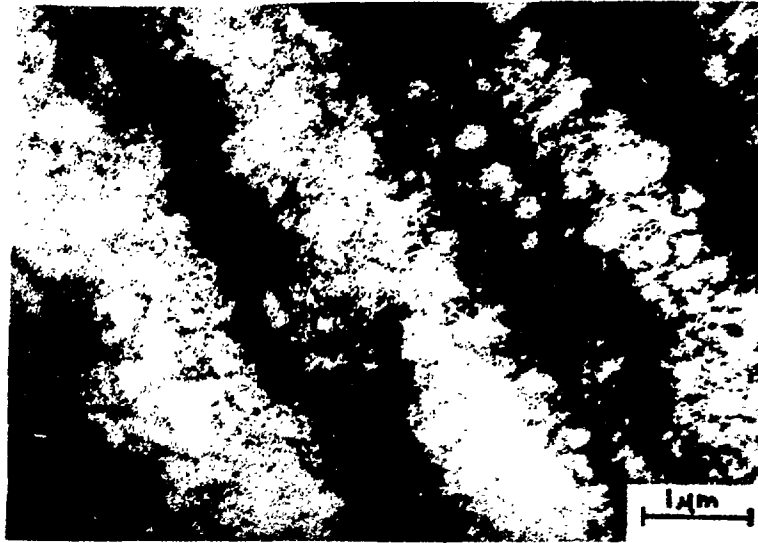


FIG. 3

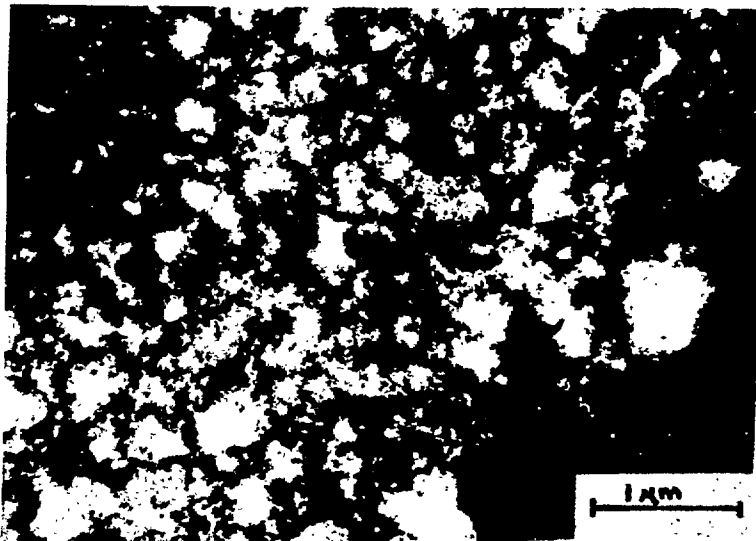


FIG. 4

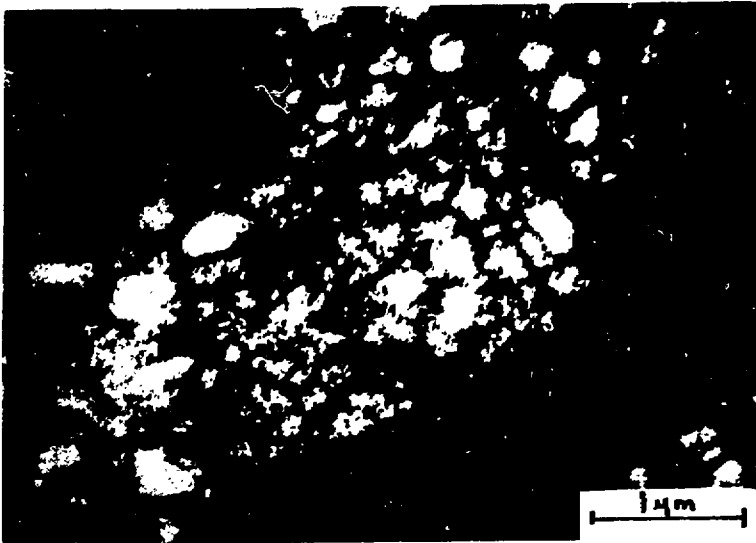


FIG. 5

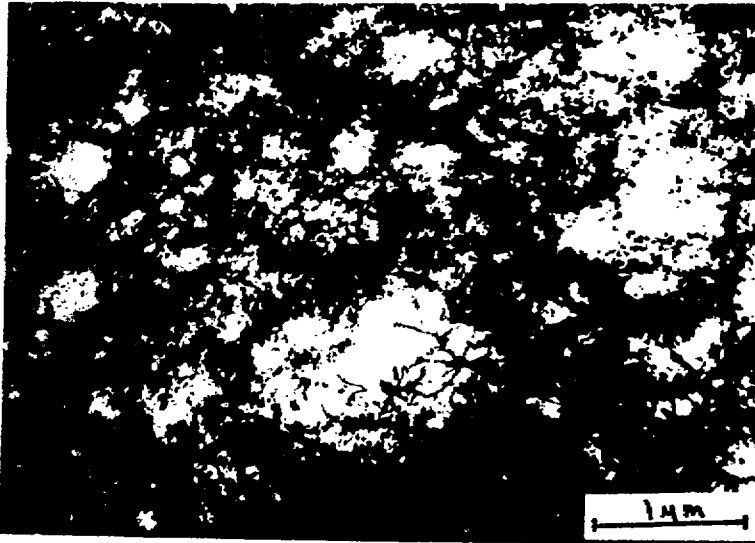


FIG. 6

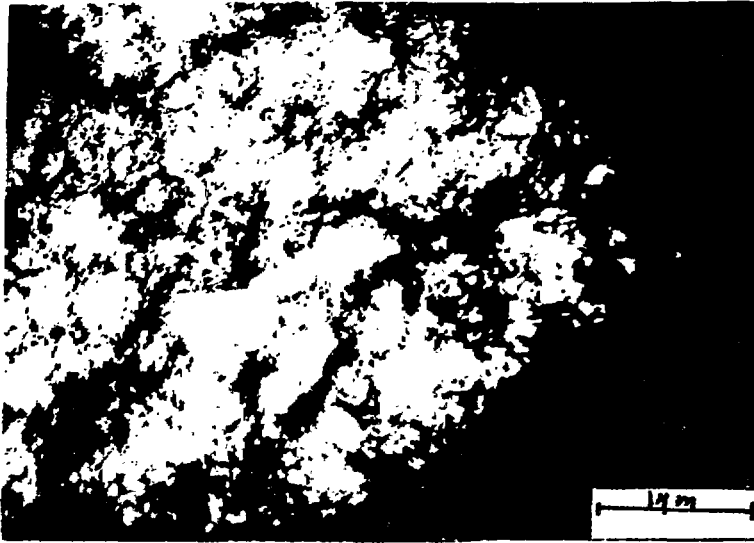


FIG. 7

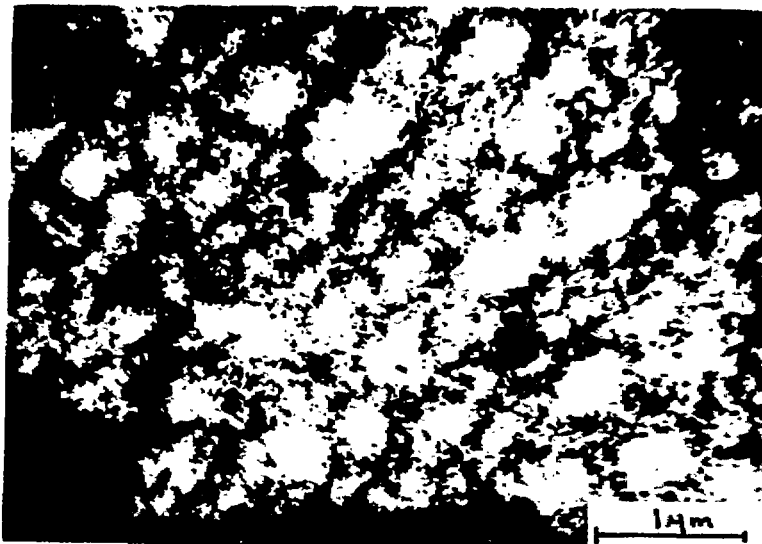


FIG. 8

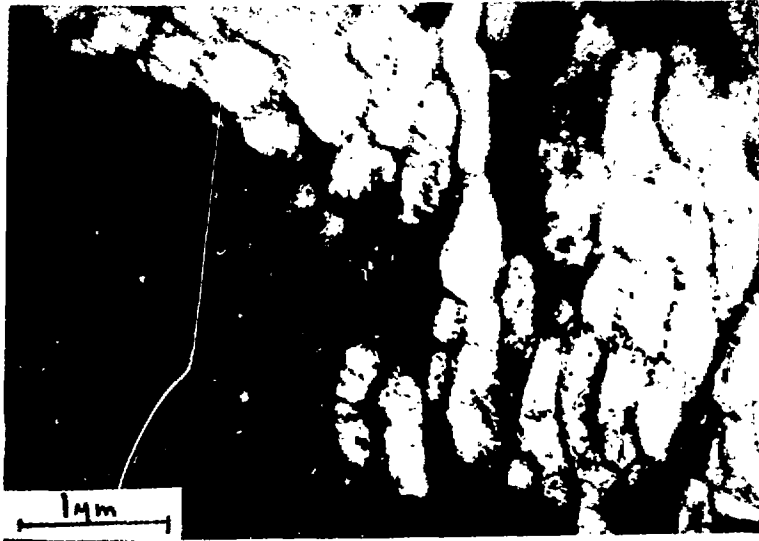


FIG. 9

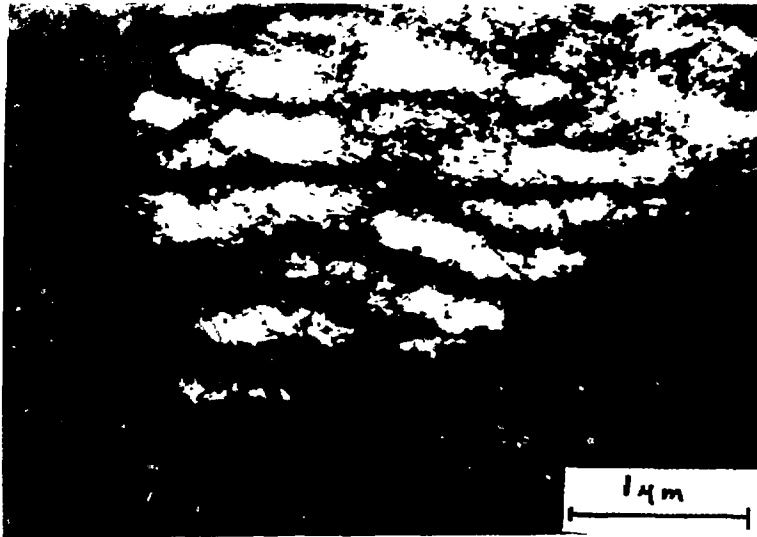


FIG. 10

